

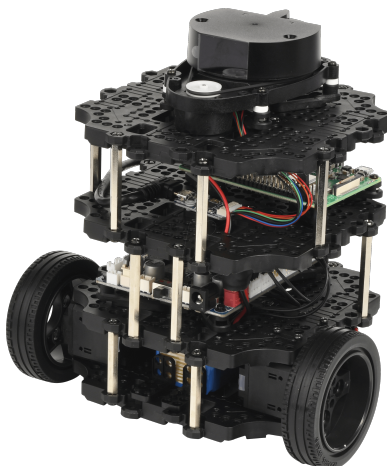


Μάθημα: **ΜΥΕ031-Ρομποτική**
Ακαδημαϊκό έτος: 2022-2023
Διδάσκων: Κ. Βλάχος
Ημερομηνία παράδοσης: **26 Μαΐου 2023**

Εργασία

Θέμα 1 (50%)

Ο στόχος είναι ο σχεδιασμός επιθυμητών τροχιών και ο προγραμματισμός της κίνησης ενός τροχοφόρου ρομπότ διαφορικής κίνησης (Turtlebot 3 Burger, δες Σχήμα 1) σε περιβάλλον προσομοίωσης, έτσι ώστε να τις υλοποιήσει επιτυχώς. Το περιβάλλον προσομοίωσης, θα δημιουργηθεί με την χρήση των λογισμικών πακέτων ROS, RViz ή/και Gazebo. Ακολουθούν οδηγίες εγκατάστασης για ROS 1 και ROS 2. Το ROS 2 και τα απαραίτητα πακέτα για το ρομπότ είναι εγκατεστημένα και στο ΠΕΠ II (μόνο εκεί).



Σχήμα 1: Το τροχοφόρο ρομπότ Turtlebot 3 Burger.

Οδηγίες εγκατάστασης (ROS 1 Noetic)

Καταρχάς, υποθέτουμε ότι έχετε εγκαταστήσει το πακέτο `ros-noetic-desktop-full`, και ότι ο φάκελος εργασίας είναι ο `~/catkin_ws`. Αναλυτικές οδηγίες και tutorials θα βρείτε στην ιστοσελίδα του ROS. Επίσης, πρέπει να εγκαταστήσετε (αν δεν είναι εγκατεστημένα) κάποια απαραίτητα πακέτα με τις εντολές

- `sudo apt install ros-noetic-turtlebot3-msgs`
- `sudo apt install ros-noetic-turtlebot3`
- `sudo apt install ros-noetic-turtlebot3-simulations`

Σε κάθε `terminal` που ανοίγετε, θα πρέπει να ορίσετε τον τύπο του ρομπότ με την εντολή



- `export TURTLEBOT3_MODEL=burger`

ή, για ευκολία, μπορείτε να εισάγετε την εντολή στο κρυφό αρχείο `~/.bashrc`. Αν οι παραπάνω εντολές έχουν εκτελεσθεί χωρίς σφάλματα, μπορείτε να δείτε το ρομπότ με τις εντολές

- `roslaunch turtlebot3_gazebo turtlebot3_empty_world.launch`

ή/και

- `roslaunch turtlebot3_fake turtlebot3_fake.launch`

Δοκιμάστε να κινήσετε το ρομπότ με την εντολή

- `rostopic pub /cmd_vel geometry_msgs/Twist -r 3 -- '[0.0,0.0,0.0]' '[0.0, 0.0, 0.5]'`

η οποία περιστρέφει το ρομπότ με περιστροφική ταχύτητα 0.5 rad/s.

Οδηγίες εγκατάστασης (ROS 2 Humble)

Υποθέτουμε ότι έχετε εγκαταστήσει το πακέτο `ros-humble-desktop`, και ότι ο φάκελος εργασίας είναι ο `~/ros2_ws`. Αναλυτικές οδηγίες και tutorials θα βρείτε στην ιστοσελίδα του ROS. Στη συνέχεια, πρέπει να εγκαταστήσετε (αν δεν είναι εγκατεστημένα) κάποια απαραίτητα πακέτα με τις εντολές

- `sudo apt-get install ros-humble-gazebo-*`
- `sudo apt install ros-humble-turtlebot3-msgs`
- `sudo apt install ros-humble-turtlebot3`
- `sudo apt install ros-humble-turtlebot3-simulations`

Σε κάθε `terminal` που ανοίγετε, θα πρέπει να ορίσετε τον τύπο του ρομπότ με την εντολή

- `export TURTLEBOT3_MODEL=burger`

ή, για ευκολία, μπορείτε να εισάγετε την εντολή στο κρυφό αρχείο `~/.bashrc`. Αν οι παραπάνω εντολές έχουν εκτελεσθεί χωρίς σφάλματα, μπορείτε να δείτε το ρομπότ με τις εντολές

- `ros2 launch turtlebot3_gazebo empty_world.launch.py`

ή/και

- `ros2 launch turtlebot3_fake_node turtlebot3_fake_node.launch.py`

Δοκιμάστε να κινήσετε το ρομπότ με την εντολή

- `ros2 topic pub /cmd_vel geometry_msgs/msg/Twist "{linear: {x: 0.0, y: 0.0, z: 0.0}, angular: {x: 0.0, y: 0.0, z: 0.5}}"`

η οποία περιστρέφει το ρομπότ με περιστροφική ταχύτητα 0.5 rad/s.

Ανεξάρτητα με την έκδοση του ROS που θα χρησιμοποιήσετε, βεβαιωθείτε ότι μπορείτε να κινήσετε το ρομπότ δίνοντας διάφορες εντολές ταχύτητας μέσω του `topic /cmd_vel`. Η θέση και ο προσανατολισμός του, καθώς και η ταχύτητά του, υπάρχουν στο `topic /odom`.

Προσοχή : Ενώ υπάρχουν πολλά έτοιμα προγράμματα οδήγησης και ελέγχου του ρομπότ (το ROS δίνει αρκετές δυνατότητες), η εργασία θα υλοποιηθεί δίνοντας εντολές ταχύτητας στο ρομπότ μέσω του `topic cmd_vel αποκλειστικά`. Ο λόγος είναι ότι θα πρέπει εσείς να σχεδιάσετε και να γράψετε τον κώδικα κίνησης του ρομπότ. **Έτοιμοι controllers δεν γίνονται δεκτοί.**



Προβλήματα θέματος 1

1. Γράψτε πρόγραμμα (node), το οποίο να κινεί το τροχοφόρο ρομπότ με αυθαίρετη επιθυμητή γραμμική, v_d , και περιστροφική ταχύτητα, ω_d , εκφρασμένες ως προς το σωματόδετο ΣΣ. Αποθηκεύστε (χρησιμοποιήστε το πακέτο `rosbag/rosbag2`) και εκτυπώστε στην οθόνη του υπολογιστή, διαγράμματα με τις τροχιές των μετατοπίσεων και των ταχυτήτων για τις τιμές του Πίνακα 1.

Πίνακας 1: Τιμές για το ερώτημα 1.

Ταχύτητα $[v_d, \omega_d]^T$	Διάρκεια
$[0 \text{ m/s}, 10^\circ/\text{s}]^T$	10 s
$[0.1 \text{ m/s}, -15^\circ/\text{s}]^T$	15 s

2. Η αρχική θέση, (x_0, y_0) , και προσανατολισμός, θ_0 , του ρομπότ είναι δοσμένα. Σχεδιάστε τρεις διαφορετικές τροχιές:

- (α') Η πρώτη τροχιά θα περιγράφει την περιστροφή του ρομπότ, έτσι ώστε να "κοιτάξει" μια δοσμένη τελική θέση, (x_f, y_f) .
- (β') Στη συνέχεια, η δεύτερη τροχιά θα περιγράφει την γραμμική κίνηση του ρομπότ, έτσι ώστε να φτάσει στην δοσμένη τελική θέση.
- (γ') Αφού το ρομπότ φτάσει στην τελική θέση, η τρίτη τροχιά θα περιγράφει την περιστροφή του, έτσι ώστε να αποκτήσει έναν δοσμένο τελικό προσανατολισμό, θ_f .

Χρησιμοποιήστε μια μέθοδο και αντίστοιχες παραμέτρους, σύμφωνα με τον Πίνακα 2, όπου AM, είναι ο **μεγαλύτερος AM** των μελών της κάθε ομάδας). Επιλέξτε τη διάρκεια κάθε τμήματος, έτσι ώστε η ταχύτητα να μην υπερβαίνει την μέγιστη τιμή της.

3. Γράψτε πρόγραμμα (node), το οποίο να κινεί το ρομπότ σύμφωνα με την τροχιά που έχετε σχεδιάσει. Στον κώδικα που θα γράψετε, η κίνηση του ρομπότ θα υλοποιείται δίνοντας απευθείας εντολές ταχύτητας στο ρομπότ μέσω του topic `cmd_vel`. **Καμιά άλλη μέθοδος δεν θα γίνει δεκτή.** Δοκιμάστε με διάφορα σημεία για να εξετάσετε την ορθότητα του κώδικα.

Αποθηκεύστε (χρησιμοποιήστε το πακέτο `rosbag/rosbag2`) και εκτυπώστε στην οθόνη του υπολογιστή, διαγράμματα με τις επιθυμητές τροχιές θέσης και ταχύτητας που σχεδιάσατε, καθώς και αυτές που πραγματοποιήσει το ρομπότ.

4. Σε συνεννόηση με τον διδάσκοντα, οι κώδικες των προβλημάτων 1 και 3, θα τρέξουν, αφού γίνουν οι αναγκαίες (αν υπάρχουν) αλλαγές στα ονόματα των σχετικών topics, στο τροχοφόρο ρομπότ του εργαστηρίου.
5. Με την χρήση turnin (σύντομα θα υπάρξουν οδηγίες), θα παραδώσετε το πακέτο με όλους τους κώδικες ώστε να μπορεί να εκτελεστεί. Επίσης, θα παραδώσετε όλα τα διαγράμματα σε ηλεκτρονική μορφή με την αναγκαία περιγραφή τους.



Πίνακας 2: Μέθοδοι και παράμετροι σχεδιασμού τροχιάς για το θέμα 1.

Μέθοδος/Παράμετρος	Τιμή
Κυβικά πολυώνυμα	Άρτιος AM (ο μεγαλύτερος της ομάδας)
Γραμμικές συναρτήσεις με παραβολικά τμήματα	Περιττός AM (ο μεγαλύτερος της ομάδας)
Αρχική θέση και προσανατολισμός	$\mathbf{q}_0 = \begin{bmatrix} x_0 \\ y_0 \\ \vartheta_0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \text{ m} \\ 0 \text{ m} \\ 0 \text{ rad} \end{bmatrix}$
Τελική θέση και προσανατολισμός	$\mathbf{q}_f = \begin{bmatrix} x_f \\ y_f \\ \vartheta_f \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \text{round}\left(\frac{AM}{1000}\right) \text{ m} \\ \text{round}\left(\frac{AM}{2000}\right) \text{ m} \\ \left(\frac{AM}{3000}\right) \text{ rad} \end{bmatrix} \begin{matrix} 5 \\ 2 \\ 1,573 \end{matrix}$
Μέγιστη γραμμική ταχύτητα	0.2 m/s
Μέγιστη γωνιακή ταχύτητα	40°/s

Θέμα 2 (50%)

Ο στόχος είναι ο προγραμματισμός της κίνησης ενός ρομποτικού βραχίονα, δες Σχήμα 2), έτσι ώστε οι αρθρώσεις του να κινηθούν σύμφωνα με προσχεδιασμένες τροχιές. Το περιβάλλον προσομοίωσης, θα δημιουργηθεί με την χρήση των λογισμικών πακέτων ROS, RViz ή/και Gazebo. Ακολουθούν οδηγίες εγκατάστασης για ROS 1 και ROS 2. Το ROS 2 και τα απαραίτητα πακέτα για το ρομπότ είναι εγκατεστημένα και στο ΠΕΠ II.

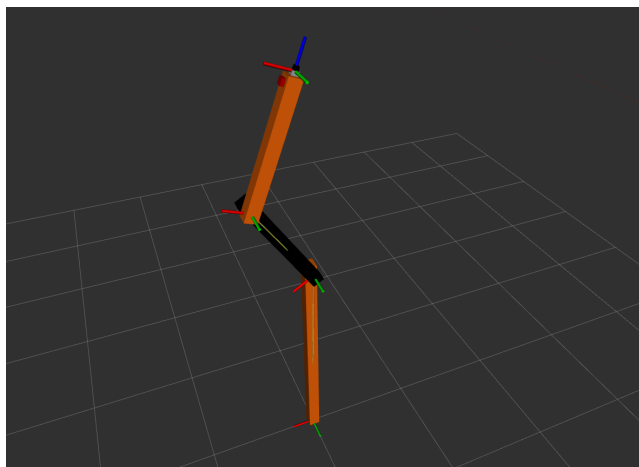
Οδηγίες εγκατάστασης (ROS 1 Noetic)

Υποθέτουμε ότι έχετε εγκαταστήσει το πακέτο `ros-noetic-desktop-full`, και ότι ο φάκελος εργασίας είναι ο `~/catkin_ws`. Αναλυτικές οδηγίες και tutorials θα βρείτε στην ιστοσελίδα του ROS. Επίσης, πρέπει να εγκαταστήσετε (αν δεν είναι εγκατεστημένα) κάποια απαραίτητα πακέτα με τις εντολές

- `sudo apt-get install ros-noetic-ros-control`
- `sudo apt-get install ros-noetic-ros-controllers`
- `sudo apt-get install ros-noetic-gazebo-ros-control`

Θα χρησιμοποιήσουμε τον ρομποτικό βραχίονα δύο βαθμών ελευθερίας, και το αντίστοιχο πακέτο, που περιγράφεται εδώ. Μπείτε στον φάκελο `~/catkin_ws/src` και εκτελέστε

- `git clone https://github.com/lyleokoth/rrbot`



Σχήμα 2: Ο βραχίονας rrbot (Revolute-Revolute Manipulator Robot) στο RViz.

Τέλος, μπειτε στον φάκελο `~/catkin_ws` και εκτελέστε την εντολή

- `catkin_make`

Αν οι παραπάνω εντολές έχουν εκτελεσθεί χωρίς σφάλματα, μπορείτε να δείτε το ρομπότ με την εντολή

- `roslaunch rrbot_control rrbot_control.launch`

Δοκιμάστε να κινήσετε το ρομπότ με την εντολή

- `rostopic pub /rrbot/joint1_position_controller/command std_msgs/Float64 "data: 0.9"`

η οποία περιστρέφει την πρώτη άρθρωση του βραχίονα κατά 0.9 rad.

Οδηγίες εγκατάστασης (ROS 2 Humble)

Υποθέτουμε ότι έχετε εγκαταστήσει το πακέτο `ros-humble-desktop`, και ότι ο φάκελος εργασίας είναι ο `~/ros2_ws`. Αναλυτικές οδηγίες και tutorials θα βρείτε στην ιστοσελίδα του ROS. Στη συνέχεια, πρέπει να εγκαταστήσετε (αν δεν είναι εγκατεστημένα) κάποια απαραίτητα πακέτα με τις εντολές

- `sudo apt-get install ros-humble-gazebo-*`
- `sudo apt-get install ros-humble-ros2-control`
- `sudo apt-get install ros-humble-ros2-controllers`

Θα χρησιμοποιήσουμε τον ρομποτικό βραχίονα δύο βαθμών ελευθερίας, και το αντίστοιχο πακέτο, που περιγράφεται εδώ. Μπειτε στον φάκελο `~/ros2_ws/src` και εκτελέστε

- `git clone https://github.com/ros-controls/ros2_control_demos.git`



Για να αποφύγετε προβλήματα με το `build` (επόμενη εντολή), σβήστε τον φάκελο `example_8` (μόνο το `example_1` αρκεί). Στη συνέχεια, μπειτε στον φάκελο `~/ros2_ws` και εκτελέστε τις εντολές

- `sudo rosdep init`
- `rosdep update`
- `rosdep install --from-paths src --ignore-src -r -y`
- `colcon build --symlink-install`

Αν οι παραπάνω εντολές έχουν εκτελεσθεί χωρίς σφάλματα, μπορείτε να δείτε το ρομπότ με την εντολή

- `ros2 launch ros2_control_demo_example_1 rrbot.launch.py`

Δοκιμάστε να κινήσετε το ρομπότ με την εντολή

- `ros2 topic pub /forward_position_controller/commands std_msgs/msg/Float64MultiArray "data: [0.5, 0.5]"`

η οποία περιστρέφει και τις δύο αρθρώσεις του βραχίονα κατά 0.5 rad.

Ανεξάρτητα με την έκδοση του ROS που θα χρησιμοποιήσετε, βεβαιωθείτε ότι μπορείτε να κινήσετε το ρομπότ δίνοντας διάφορες εντολές περιστροφής των αρθρώσεων μέσω των κατάλληλων topics. Οι γωνίες και οι γωνιακές ταχύτητες των αρθρώσεων, υπάρχουν στο topic `*/joint_states`.

Προβλήματα θέματος 2

1. Γράψτε πρόγραμμα (node), το οποίο να περιστρέφει τις αρθρώσεις του ρομποτικού βραχίονα, q_1 και q_2 , σε αυθαίρετες επιθυμητές γωνίες. Αποθηκεύστε (χρησιμοποιήστε το πακέτο `rosbag/rosbag2`) και εκτυπώστε στην οθόνη του υπολογιστή, διαγράμματα με τις τροχιές των μεταβλητών των αρθρώσεων, για τις τιμές του Πίνακα 3.

Πίνακας 3: Τιμές για το ερώτημα 1.

Μεταβλητή άρθρωσης	Αρχική γωνία	Τελική επιθυμητή γωνία
q_1	0°	-35°
q_2	0°	50°

2. Σχεδιάστε τροχιές για τις αρθρώσεις, έτσι ώστε ταυτόχρονα να ξεκινούν από τις αρχικές γωνίες και να σταματούν σε κάποιες τελικές επιθυμητές γωνίες. Χρησιμοποιήστε μια μέθοδο και αντίστοιχες παραμέτρους, σύμφωνα με τον Πίνακα 4, όπου AM, είναι ο **μεγαλύτερος AM** των μελών της κάθε ομάδας). Επιλέξτε τη διάρκεια της κίνησης, ίδια και για τις δύο αρθρώσεις, έτσι ώστε η γωνιακή ταχύτητα κάθε άρθρωσης να μην υπερβαίνει την μέγιστη τιμή της.



Πίνακας 4: Μέθοδοι και παράμετροι σχεδιασμού τροχιών των αρθρώσεων για το θέμα 2.

Μέθοδος/Παράμετρος	Τιμή
Κυβικά πολυώνυμα	Περιττός AM (ο μεγαλύτερος της ομάδας)
Γραμμικές συναρτήσεις με παραβολικά τμήματα	Άρτιος AM (ο μεγαλύτερος της ομάδας)
Αρχικές γωνίες των αρθρώσεων	$\mathbf{q}_0 = \begin{bmatrix} q_{1,0} \\ q_{2,0} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0^\circ \\ 0^\circ \end{bmatrix}$
Τελικές γωνίες των αρθρώσεων	$\mathbf{q}_f = \begin{bmatrix} q_{1,f} \\ q_{2,f} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \text{round} \left(\frac{AM}{100} \right)^\circ \\ -\text{round} \left(\frac{AM}{100} \right)^\circ \end{bmatrix}$
Μέγιστη γωνιακή ταχύτητα άρθρωσης 1	$\dot{q}_{1,max} = 10^\circ/s$
Μέγιστη γωνιακή ταχύτητα άρθρωσης 2	$\dot{q}_{2,max} = 8^\circ/s$

3. Γράψτε πρόγραμμα (node), το οποίο να κινεί το ρομπότ σύμφωνα με τις τροχιές που σχεδιάσατε στο προηγούμενο πρόβλημα. Στον κώδικα που θα γράψετε, η κίνηση του ρομπότ θα υλοποιείται δίνοντας εντολές γωνίας στις αρθρώσεις μέσω των topics που αναφέρονται στις οδηγίες εγκατάστασης. **Καμιά άλλη μέθοδος δεν θα γίνει δεκτή.** Δοκιμάστε με διάφορες τελικές γωνίες για να εξετάσετε την ορθότητα του κώδικα.

Αποθηκεύστε (χρησιμοποιήστε το πακέτο `rosvbag/rosvbag2`) και εκτυπώστε στην οθόνη του υπολογιστή, διαγράμματα με τις επιθυμητές τροχιές **γωνιών** και **γωνιακών ταχυτήτων** που σχεδιάσατε, καθώς και αυτές που πραγματοποίησε το ρομπότ.

4. Με την χρήση `turnin` (σύντομα θα υπάρξουν οδηγίες), θα παραδώσετε το πακέτο με όλους τους κώδικες ώστε να μπορεί να εκτελεστεί. Επίσης, θα παραδώσετε όλα τα διαγράμματα σε ηλεκτρονική μορφή με την αναγκαία περιγραφή τους.

Για οποιαδήποτε απορία, επικοινωνήστε μαζί μου.